

MA包装貯蔵を主体としたブロッコリーの鮮度保持

波部一平, 土井香織

キーワード：ブロッコリー, 鮮度保持, MA 包装貯蔵, 包装資材

The freshness maintenance of the broccoli mainly composed of Modified Atmosphere storage

Ippei HABE, Kaori DOI

目次

1. 緒言	98
2. 2種類の包装資材の比較	99
1) 試験方法	99
2) 試験結果及び考察	99
3. 収穫時期および収穫時刻の違いによる鮮度保持性	101
1) 試験方法	101
2) 試験結果及び考察	103
4. 鮮度保持資材の機能性の年間比較	106
1) 試験方法	106
2) 試験結果及び考察	106
5. 収穫後高温処理の鮮度保持効果	109
1) 試験方法	110
2) 試験結果及び考察	110
6. 総合考察	113
7. 摘要	115
8. 謝辞	115
9. 引用文献	115
Summary	117

1. 緒言

長崎県内でのブロッコリー生産量は年々増加しており、中でも雲仙市吾妻町は産地として全国的に有名である。また、島原半島のみならず、県北地域、壱岐等でも栽培がなされ、大消費地である関西へも出荷されている。しかし、本県は日本の西端に位置しており、輸送距離が長く、一方で、ブロッコリーは収穫後の呼吸量が多く鮮度保持が難しいとされる農産物であり¹⁶⁾、鮮度をいかに維持して市場へ輸送できるかが非常に重要である。

本県のブロッコリー栽培は、秋から春に行われる。この栽培期間の中で、気温が高い季節の春・秋収穫のものでは、鮮度低下による花蕾や花茎の黄化が生じることがあり問題となっており、価格面において、鮮度保持程度が非常に影響を与えているのが実情である。

ブロッコリーを含む園芸作物は収穫後も活発に呼吸・蒸散活動を行っており、鮮度・品質を維持するためにはこれらの制御を上手く行うことが重要である。そのため、色々な鮮度保持技術が開発され、導入されている^{5,11,21)}。具体例としては、作物の収穫後の予冷、輸送中の温度コントロール、卸売市場での冷蔵施設、販売店および家庭での冷蔵庫という一貫したコールドチェーンシステムや植物体の老化を促進させるエチレンを分解する資材の利用等がある。

また、青果物の鮮度を保つためには、品温を低温で保つ方法以外に環境気相をコントロールすることにより呼吸量を抑制する方法^{10,15,17,20,23)}も挙げられる。環境気相を通常の大気条件よりも高二酸化炭素濃度、低酸素濃度に保つことにより、青果物の呼吸量は減少する^{15,17,20,23)}。このような特性を活かして、包装資材としてプラスチックフィルムを用いる MA (modified atmosphere) 貯蔵が昨今多く導入されている。

そこで、本研究では、低コストである MA 包装貯蔵による鮮度保持資材の導入を軸としたブロッコリーの鮮度保持技術向上について検討したので報告する。

また、ブロッコリーでは、現在、鮮度保持の観点から早朝収穫が推奨されているが、科学的確認は十分でない。また、ハウレンソウでは、品質指

標として重要視されているビタミン C 含量が、朝収穫よりも夕方収穫の方が収穫 4 日後の残存率が高く、鮮度保持が良いことが報告³⁾されている。そこで、ブロッコリーの収穫時期別、また朝、昼、夕方の収穫時刻別にその保存中の外観推移を明らかにした。

さらに、青果物の品質保持のためには、通常低温に保つことが鮮度保持における重要な方法であるが、この他に、植物体をストレス下に置くことでストレス反応を誘起し、鮮度保持に有効な内容成分含量を増加させ、鮮度保持の向上を図る研究も行われている^{4,13,18,19)}。

その一例として、高温処理を行うことによりブロッコリーの黄化が抑制されることが報告^{4,19)}されている。収穫後に高温処理を行うことは古くから行われており、その目的は害虫防除や病原菌による腐敗防止であった。例えば、コンニャクイモの主要病原菌である軟腐病菌乾腐病菌に対して温湯浸漬処理で癒傷組織が形成されるキュアリング効果による病害防除効果¹⁴⁾等が報告されている。しかし、昨今は病虫害対策のみならず、追熟の制御や低温障害の軽減に効果があるなど、植物体の生理学的効果が注目されつつある。ブロッコリーの場合は、50°C の条件下で 2 時間処理することにより、花蕾中のクロロフィル分解に関与する酵素であるクロロフィラーゼ、クロロフィル分解ペルオキシダーゼ活性が抑制され、花蕾の黄化抑制がされる^{4,19)}ことが報告されている。

そこで、本県ブロッコリーの生産、収穫、出荷過程において、同様に収穫後高温処理を行い、その鮮度保持効果を検証した。

本研究で供試したブロッコリーは、通常本県での収穫後 3 日目の早朝に大阪府にある市場に到着し、0 日～2 日間、市場で 10°C 保管され、小売店へ輸送される。商品の多くは収穫後 3～5 日目までには消費者に購入される。そのため、収穫後 6 日後には、消費者に商品が渡っており、その後の消費者の家庭内での保存期間を考慮して収穫後 12 日目までを主として鮮度保持効果を調査した。

2. 2種類の包装資材の比較

ブロッコリーを始めとして各青果物の鮮度保持にはそれぞれ適した二酸化炭素濃度、酸素濃度があり、その範囲より高二酸化炭素濃度や、低酸素濃度になるとガス障害が発生し、メタンチオールやジメチルジスルフィド等の含硫揮発性成分を発生することがある²⁾。

そのため、本県産地の1つ、JA 島原雲仙では現在ブロッコリーの特徴を利用し、鮮度保持効果が働く微細孔加工がされた二軸延伸ポリプロピレン(OPP)製フィルム(厚さ 0.025mm)の包装資材を用いているが、高コストの点が問題となっている。

そこで、より低コストで、より鮮度保持効果が期待できる包装資材を探索するため、安価で、二酸化炭素や酸素の透過率がその厚さによって変化する特徴を有する低密度ポリエチレン(LDPE)製袋を用いてブロッコリーの鮮度保持に最適な厚さを検討した。

本県内の雲仙市から出荷先である大阪府の市場間での輸送中温度推移は約 10℃以下であったことを確認しており(未発表)、本試験は実際の輸送温度と同様の 10℃定温・暗所(12日間)保存条件下で行った。

1) 試験方法

(1) 試料

供試したブロッコリーは 2009 年 1 月、供試日の午前中に雲仙市吾妻町の現場圃場で収穫し、20 株ずつを慣行の普通ダンボール容器に横詰めし、長崎県農林技術開発センター(長崎県諫早市、以下農技セと略す)に常温で搬入した。品種はピクセルで、1 試験区 20 個体で行った。

(2) 包装資材

OPP 製袋の形状は、240mm×290mm で厚さが 0.025mm である。LDPE 製袋は、厚さ 0.02mm のものが 250mm×350mm、厚さ 0.03mm、0.05mm のものが 230mm×350mm である。

(3) 包装方法

搬入された試料を常温状態で 1 袋につきブロッコリー 1 個体を入れ、ヒートシールにより密封した。

(4) 保存方法及び調査法

上記により包装された試料を、その日の 16 時頃に 10℃恒温・暗所条件下に設定した低温恒温槽(九州科学製 KLP-0.5AS)に入れて、保存した。また、下記の調査後は再度同条件で保存した。なお、クロロフィル含量分析に供した試料は分析後廃棄した。調査は、開始日及び開始後 3, 6, 9, 12 日後に行った。

(5) 調査項目

ア) 花蕾黄化の達観評価

花蕾部の黄化程度を達観基準 1~5 で段階評価した。なお、調査は 1 試験区 5 個体を固定し実施した。判断基準は以下である。1: 全く黄化なし、2: 花蕾の 1/8 まで黄化、3: 花蕾の 1/4 まで黄化、4: 花蕾の 1/2 まで黄化、5: 花蕾の 1/2 以上黄化

イ) 花茎部鮮度の達観評価

花梗部の鮮度程度を達観基準 1~5 で段階評価した。1 試験区 5 個体を固定し実施した。判断基準は以下である。1: 劣化なし、2: 葉柄の多少の黄化、3: 葉柄の黄化、4: 葉柄のヒビ、5: 葉柄の剥離

ウ) クロロフィル含量分析

ブロッコリー花蕾部を先端から約 5mm 切り出し、このうち 5g を乳鉢に入れ、乳棒で磨砕し、約 60℃に加温した 80%アセトンで抽出し、ろ過した後常温の 80%アセトンで 100ml に定溶し、分光光度計(GE ヘルスサイエンス: Ultraspec Pro 330)により 750, 663, 645nm の波長で吸光度を測定し、総クロロフィル含量を算出した。1 試験区 3 個体で行った。

エ) 袋内の異臭調査

異臭の有無及び強さを 4 段階で判断した。判断基準は以下である。-: 異臭なし ±: 異臭が若干有り +: 異臭有り ++: 強い異臭有り 1 試験区 5 個体を固定し実施した。

2) 試験結果及び考察

達観評価による花蕾部の黄化は、OPP 製袋では保存 9 日後から黄化したが、厚さ 0.02mm の LDPE 製袋では 12 日後に黄化が認められた。一方、厚さ 0.03mm と 0.05mm の LDPE 製袋では、保存 12

日後でも黄化が認められなかった。LDPE 製袋が OPP 製袋に比べてブロッコリー花蕾部の黄化を抑制した (表 1)。

花蕾部のクロロフィル含量は、OPP 製袋では 6 日目に大きく低下した。一方、LDPE 製袋は、0.02mm が OPP 製袋に次いで 6 日目から若干低下

し始め、9 日目、12 日目と大きく低下した。0.03mm および 0.05mm は 9 日目から低下し始めた。12 日目の含有量は、0.05mm が最も高く、次いで、0.03、0.02、OPP 製袋の順に低く (図 1)、花蕾部の達観評価の結果と一致した。

表 1 各種包装資材によるブロッコリー保存期間中の花蕾部の黄化推移 (達観調査)

包装資材の種類	保存日数			
	3日	6日	9日	12日
OPP製袋(厚さ:0.025mm)	1	1	1.4	1.4
LDPE製袋(厚さ:0.02mm)	1	1	1	1.2
LDPE製袋(厚さ:0.03mm)	1	1	1	1
LDPE製袋(厚さ:0.05mm)	1	1	1	1

[調査基準]

1: 全く黄化なし 2: 花蕾の1/8までが黄化 3: 1/8~1/4が黄化
4: 1/4~1/2が黄化 5: 花蕾全体が黄化

保存条件: 10°C定温・暗所・密封

品種: ピクセル ブロッコリー1個/袋

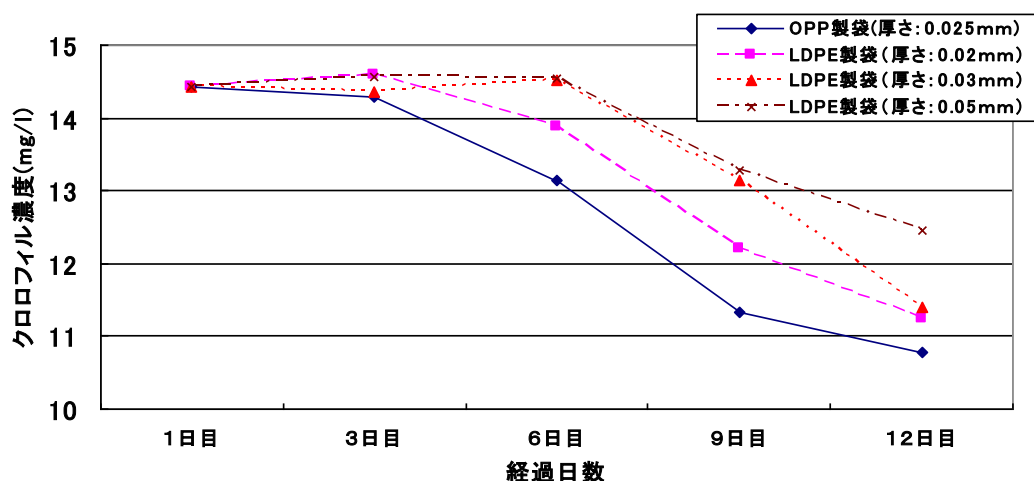


図 1 各種包装資材によるブロッコリー保存期間中の花蕾部のクロロフィル含量推移

表2 各種包装資材によるブロッコリー保存期間中の花茎部の鮮度推移(達観調査)

包装資材の種類	保存日数			
	3日	6日	9日	12日
OPP製袋(厚さ:0.025mm)	1	1	2	3
LDPE製袋(厚さ:0.02mm)	1	1	1	2
LDPE製袋(厚さ:0.03mm)	1	1	1	1
LDPE製袋(厚さ:0.05mm)	1	1	1	1

[調査基準]

1:劣化なし 2:葉柄の多少の黄化 3:葉柄の黄化
4:葉柄のヒビ 5:葉柄の剥離

表3 各種包装資材によるブロッコリー保存期間中の異臭発生の有無

包装資材の種類	保存日数			
	3日	6日	9日	12日
OPP製袋(厚さ:0.025mm)	-	-	-	-
LDPE製袋(厚さ:0.02mm)	-	-	-	-
LDPE製袋(厚さ:0.03mm)	±	±	+	+
LDPE製袋(厚さ:0.05mm)	±	+	++	++

[調査基準]-:異臭なし ±:異臭が若干する +:異臭がする ++:強い異臭がする

また、達観評価による花茎部の鮮度低下は、厚さ0.03mmと0.05mmのLDPE製袋において認められなかったが、OPP製袋では保存9日後、厚さ0.02mmのLDPE製袋では12日後に認められ(表2)、花蕾部調査の結果と一致した。

袋内の異臭調査では、保存期間中、厚さ0.05mmのLDPE製袋において最も強い異臭が発生し、次いで、同0.03mmにおいても発生が確認できた。しかし、同0.02mmとOPP製袋では発生が認められなかった(表3)。

以上のことから、保存6~9日後の黄化と異臭発生の有無を総合的に判断すると、厚さ0.02mmのLDPE製袋が鮮度保持資材として、最も優れると考えられた。

ネギにおいても、適切な厚さのLDPE製袋がOPP製袋と比較して、鮮度保持効果が高く、異臭も発生しないという本試験のブロッコリーと同様の傾向が報告されている¹⁷⁾。これらの現象は、包装資材内の二酸化炭素と酸素濃度の条件が適切に保たれているためと推測される。

3. 収穫時期および収穫時刻の違いによる鮮度保持性

ブロッコリーの収穫時期と鮮度保持の関係性を明らかにするため、収穫時刻別に、朝、昼、夕方の収穫時刻の違いによる保存中の外観推移をOPP製袋と厚さ0.02mmのLDPE製袋で調査した。

青果物は収穫後、呼吸等を行い、植物体に保持している呼吸基質である全糖などを徐々に消耗しながら生命活動を維持し、黄化等の鮮度低下を招く²⁰⁾。そして、ブロッコリーでは全糖含量の変化の後に、外観にも変化が生じ、全糖含量は外観鮮度の先行指標として有効である⁶⁾との報告があるため、全糖含量

についても分析を行った。

1) 試験方法

(1) 試料

ブロッコリーは、2009年4、5月を春、同年11月を秋、および2009年12、2010年1月を冬として各中旬頃に雲仙市の圃場より採取した。収穫時刻は、朝が7~8時、昼が13~14時、夕方が16~17時である。収穫後に花蕾先端部からの長さを約15cmに調整し、プラスチック製コンテナに入れて常温で農技セに搬入した。品種は表4に示した。

表4 試験条件とサンプルの収穫時表面温度

試験時期	天候	品種	収穫時間 測定部位	朝		昼		夕方	
				花蕾	花梗	花蕾	花梗	花蕾	花梗
2009年4月	晴れ	チャレンジャー	平均温度(°C)	10.1	—	21.1	—	13.0	—
2009年5月	晴れ	ピクセル		13.5	12.7	24.0	26.9	17.5	20.6
2009年11月	くもり	451号		4.4	3.9	13.4	11.9	11.9	9.7
2009年12月	くもり、小雨	451号		7.5	6.6	—	—	—	—
2010年1月	くもり	しき緑		2.4	1.7	8.5	6.9	5.3	3.7

* —:未測定
試験毎に10個体を測定

(2) 収穫時の品温

収穫時の花蕾部および花茎部の表面温度を、放射温度計(アズワン社製 ISK8700 II)を用いて10個体を計測し平均値を採用した。

(3) 包装資材

供試した資材の形状は、OPP製袋が厚さ0.025mmで990mm×1000mm、LDPE製袋が、厚さ0.02mmで620mm×860mmである。

(4) 包装方法

搬入した試料を下記のとおり、常温で包装した。OPP製袋1袋につきブロッコリー20個体を入れ、輪ゴムで密封し、写真1のようにダンボール1箱に詰めた。

LDPE製袋1袋につきブロッコリー10個体を入れ、輪ゴムで密封し、写真2のようにダンボール1箱に2袋詰めた。

(5) 保存方法及び調査法

上記により包装した試料を収穫してから約3時間後に10°C恒温・暗所条件下に設定した低温恒温槽(九州科学製 KLP-0.5AS)に入れて、保存した。また、下記の調査後は再度同条件で保存した。なお、全糖含量分析に供試した試料は分析後廃棄した。調査は、開始日及び開始後3, 6, 9, 12日後に行った。



写真1



写真2

(6) 調査項目

ア) 花蕾部黄化の達観評価

花蕾部の黄化程度を達観基準1~5で段階評価した。判断基準は、前試験に準じた。1試験区5個体を固定し実施した。

イ) 花蕾部の黄化度調査

分光測色計(コニカミノルタ社製 CM-2500d)を用いて、花蕾部の頭頂部1点を2回測定し平均値を採用した。黄化度は計算式(=L×b/|a|)により算出した。1試験区5個体を固定し実施した。

ウ) 花茎部鮮度の達観評価

花梗部の鮮度程度を達観基準1~5で段階評価した。判断基準は、前試験に準じた。1試験区5個体を固定し実施した。

エ) 全糖含量分析

ブロッコリー花蕾部を先端から約5mm切り出し、このうち5gを乳鉢に入れ、乳棒で磨砕し、凍結乾燥させ、80%エタノールで100°Cで糖を抽出し、塩酸を添加し加水分解を行い還元糖を水酸化ナトリウムで中和し、ソモギ・ネルソン法で測定した。なお、本分析は、秋、冬期のみ行った。1試験区5個体を供試した。

2) 試験結果及び考察

ブロッコリー花蕾部の外観は、10℃定温・暗所・密封保存下で、両包装資材の全ての収穫時期(春、秋、冬)において、朝、昼、夕方の収穫時刻に関係なく6日目まで黄化はほとんど生じなかった(図2, 3)。また、花蕾部の黄化度調査でも、達観調査と同様に収穫時刻による差は生じず、包装資材による差も認められなかった(図4, 5)。加えて、花茎部の外観においても、両包装資材とも収穫時刻による大きな差は認められなかった(図6, 7)。OPP製袋包装の全ての収穫時期とLDPE製袋包装の春期では6日目には鮮度低下が認められたが、LDPE製袋包装の秋、冬期では6日目においても鮮度低下が認められなかった。包装資材別では、OPP製

袋包装と比較してLDPE製袋包装の方が全ての収穫時期において、鮮度低下が比較的抑制されており、特に冬期のLDPE製袋包装では鮮度低下が全く認められず、包装資材別による鮮度推移の差が顕著であった(図6, 7)。

全糖含量は、秋収穫に比べ冬収穫のものが収穫時でおおよそ2~3倍高かった(図8)。ホウレンソウでは植物体が低温ストレスを受けて耐凍性を高めるため、全糖含量、特にショ糖含量が増加すること¹⁾が報告されており、またブロッコリーでも春、秋収穫と比較して気温が低い冬収穫の方が全糖含量が2~3倍高いこと⁶⁾が報告されており、本試験でも同様の傾向が認められた。

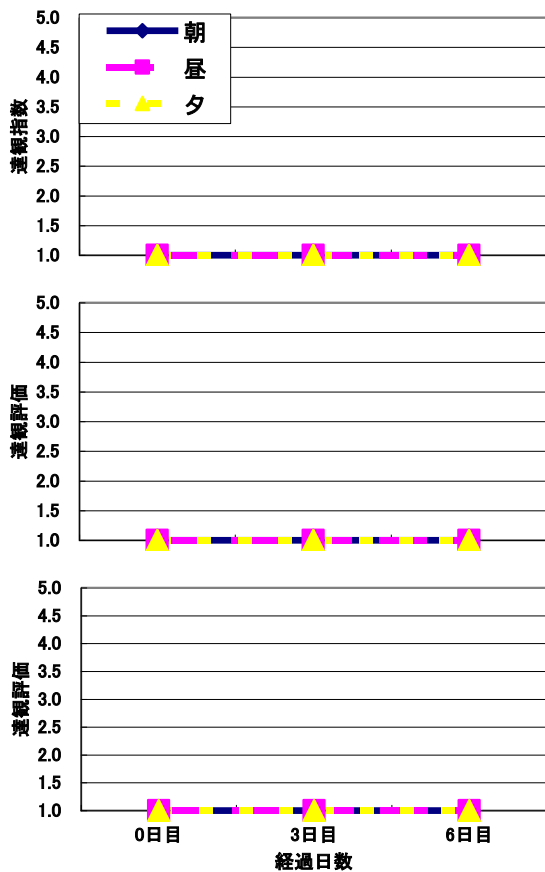


図2. LDPE製袋包装による収穫時期別、時刻別における冷蔵保存下での花蕾部の黄化推移(達観調査)、春期(上)、秋期(中)、冬期(下)
*達観指数 1:全く黄化なし, 2:花蕾の1/8まで黄化, 3:花蕾の1/4まで黄化, 4:花蕾の1/2まで黄化, 5:花蕾の1/2以上黄化

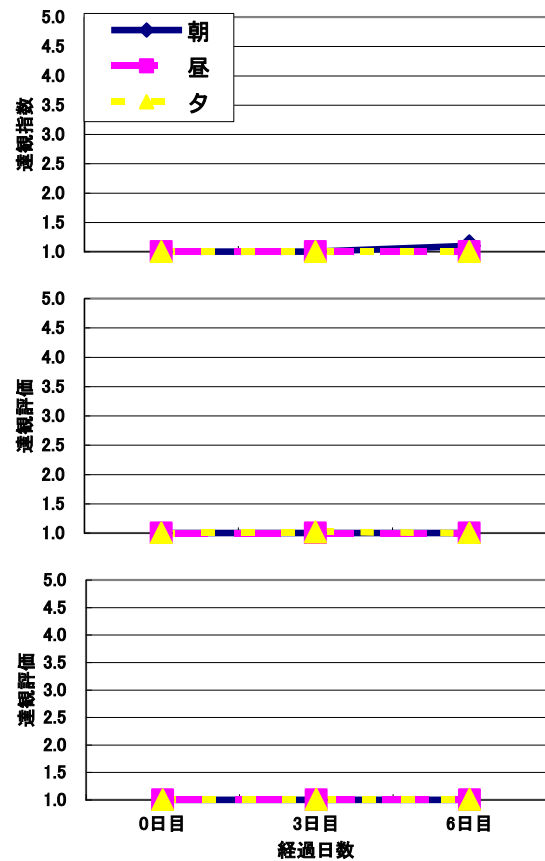


図3. OPP製袋包装による収穫時期別、時刻別における冷蔵保存下での花蕾部の黄化推移(達観調査)、春期(上)、秋期(中)、冬期(下)
*達観指数 1:全く黄化なし, 2:花蕾の1/8まで黄化, 3:花蕾の1/4まで黄化, 4:花蕾の1/2まで黄化, 5:花蕾の1/2以上黄化

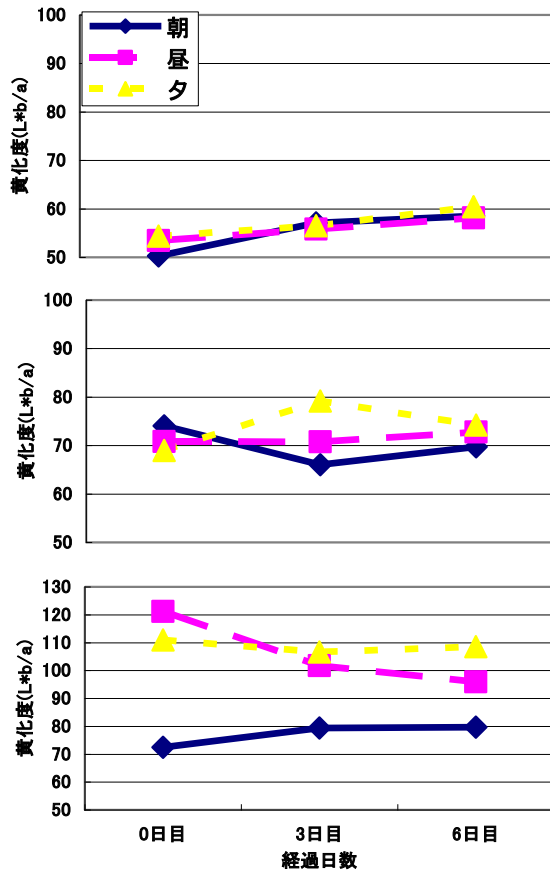


図 4. LDPE 製袋包装による収穫時期別，時刻別における冷蔵保存下での花蕾部の黄化度推移 (色差調査)，春期(上)，秋期(中)，冬期(下)

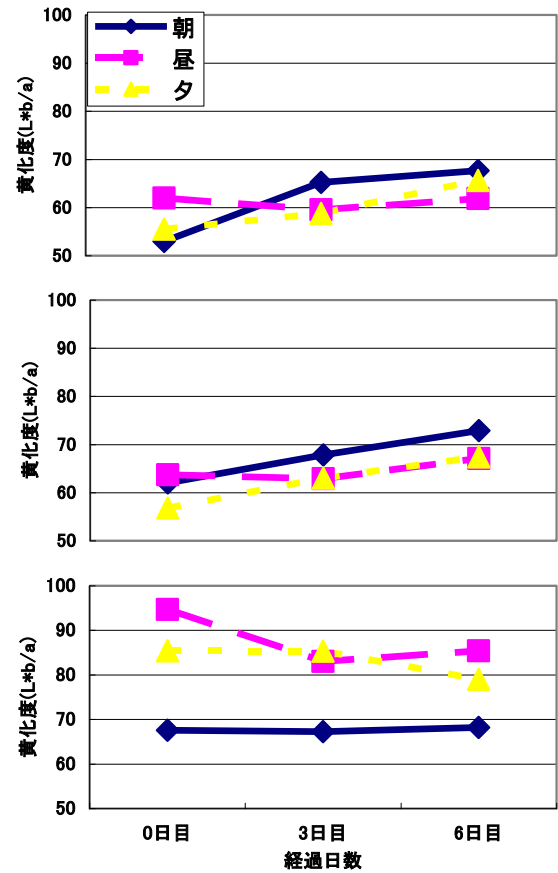


図 5. OPP 製袋包装による収穫時期別，時刻別における冷蔵保存下での花蕾部の黄化度推移 (色差調査)，春期(上)，秋期(中)，冬期(下)

収穫時刻別では，朝収穫が 6 日目まで全糖含量を高く保持していた(図 8)．ホウレンソウ¹⁷⁾と傾向が異なったのは，ブロッコリーの場合，食用部位が葉ではなく，花蕾であり，葉からの転流や茎への蓄積を介することが影響している可能性がある．また，包装資材の違いでは，LDPE 製包装の方が OPP 製包装より高い傾向が認められた(図 8)．

本研究で供試したブロッコリーは，通常本県での収穫後 3 日目の早朝に大阪府にある市場に到着し，0～2 日間，市場で 10℃保管され，小売店へ輸送される．商品の多くは収穫後 3～5 日目までには消費者に購入される．

よって，収穫後 6 日目には，消費者に購入されている可能性が非常に高く，その時点で収穫時刻の違いや包装資材の違いにより，花蕾部の外観の違いが生じる可能性は低いと考えられる．ただ，花茎部では OPP 製袋包装の全ての収穫時期と LDPE 製袋包装の春期は 6 日目には鮮度低下する可能性があるが，LDPE 製袋包装の秋，冬期には鮮度低下が生じる可能性が低い．

また，外観鮮度の先行指標とされる全糖含量は，秋・冬を総合すると他の収穫時刻よりも朝収穫が高く残存しており，輸送中や陳列中に 10℃より高温におかれた際には，朝収穫と昼・夕方収穫と比較して外観鮮度に明確な差が生じる可能性があると考えられる．

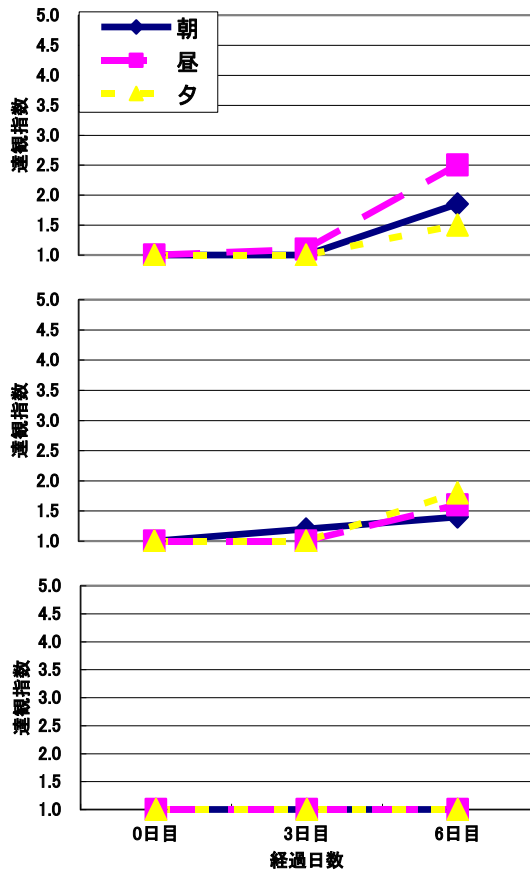


図 6. LDPE 製袋包装による収穫時期別時刻別における冷蔵保存下での花茎部の鮮度推移(達観調査), 春期(上), 秋期(中), 冬期(下)

*達観指数 1:劣化なし, 2:葉柄の多少の黄化, 3:葉柄の黄化, 4:葉柄のヒビ, 5:葉柄の剥離

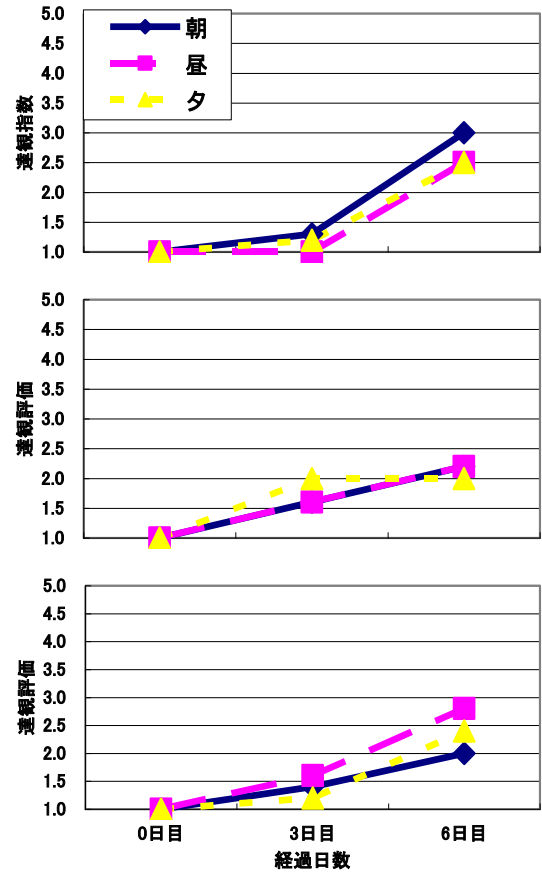


図 7. OPP 製袋包装による収穫時期別時刻別における冷蔵保存下での花茎部の鮮度推移(達観調査), 春期(上), 秋期(中), 冬期(下)

*達観指数 1:劣化なし, 2:葉柄の多少の黄化, 3:葉柄の黄化, 4:葉柄のヒビ, 5:葉柄の剥離

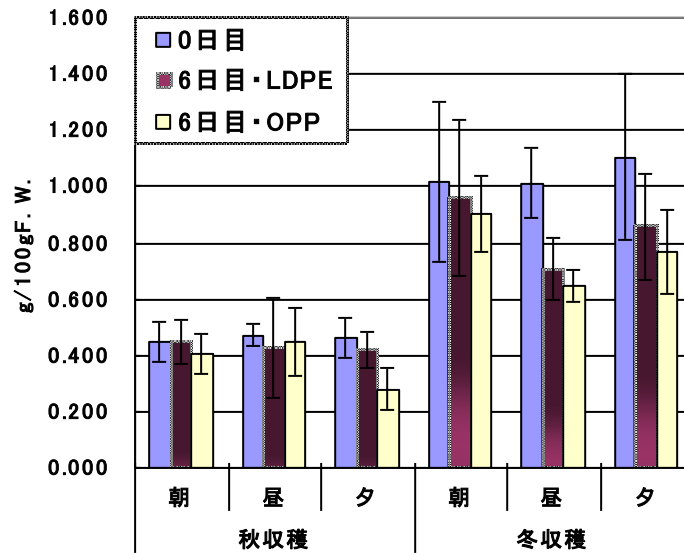


図 8 収穫時期及び収穫時刻の違いによる全糖含量推移

*バーは標準偏差を表示

4. 鮮度保持資材の機能性の年間比較

これまでの試験により、厚さ 0.02mm の LDPE 製袋が現行の厚さ 0.025mm の OPP 製袋よりも黄化を抑制し、異臭も生じないことが明らかになった。

そこで、この 2 種の包装資材を用いて、栽培品種が異なる春、秋、冬の年間の収穫時期別に鮮度保持機能を比較検証した。

1) 試験方法

(1) 試料

供試したブロッコリーは、2009 年 4、5 月を春、同年 11 月を秋、および 2009 年 12、2010 年 1 月を冬として各中旬頃に雲仙市の圃場より午前 7 時半頃に採取した。収穫後の調整、輸送等は試験 3 の 1)、(1)に準じた。品種は表 5 に示した。

(2) 収穫時の品温

測定方法等は、試験 3 の 1)、(2)に準じた。

(3) 包装資材

供試した資材の形状は、OPP 製袋が厚さ 0.025mm で 990mm×1000mm、LDPE 製袋が、厚さ 0.02mm で 620mm×860mm である。

(4) 包装方法

搬入した試料を、前試験に準じて包装した。

(5) 保存方法及び調査法

上記により包装した試料を収穫してから約 3 時間後に 10℃恒温・暗所条件下に設定した低温恒温槽(九州科学製 KLP-0.5AS)に入れて、保存した。また、下記の調査後は再度同条件で保存した調査は、開始日及び開始後 3、6、9、12 日後に行った。

(6) 調査項目

ア) 花蕾部黄化の達観評価

花蕾部の黄化程度を達観基準 1～5 で段階評価した判断基準は、試験 2 の 1)、(5)、ア)に準じた。1 試験区 5 個体を固定し実施した。

イ) 花蕾部の黄化度調査

分光測色計(コニカミノルタ社製 CM-2500d)を用いて、前試験に準じて分析した。1 試験区 5 個体を固定し実施した。

ウ) 花茎部鮮度の達観評価

花茎部の鮮度程度を達観基準 1～5 で段階評価した。判断基準は、試験 2 の 1)、(5)、イ)に準じた。1 試験区 5 個体を固定し実施した。

表 5 試験条件とサンプルの収穫時表面温度

試験時期	天候	品種	収穫時間 測定部位	朝	
				花蕾	花梗
2009年4月	晴れ	チャレンジャー	平均温度(℃)	10.1	—
2009年5月	晴れ	ピクセル		13.5	12.7
2009年11月	くもり	451号		4.4	3.9
2009年12月	くもり、小雨	451号		7.5	6.6
2010年1月	くもり	しき緑		2.4	1.7

* —:未測定
試験毎に10個体を測定

2) 試験結果及び考察

10℃定温・暗所・密封保存下において、ブロッコリー花蕾部の外観鮮度指標である黄化は、達観評価、黄化度調査では 6 日目までは、いずれの収穫時期(春、秋、冬)においても LDPE 製袋と OPP 製袋とは同程度に高く抑制されたが、春では 9 日目、秋では 12 日目に、OPP 製袋で黄化が進行した。冬では、OPP 製袋、LDPE 製袋とも黄化は認められなかった(図 9, 10)。

花茎部においては、春期は、両試験区とも 3 日

目までは鮮度劣化はほとんど生じなかったが、6 日目以降は両試験区とも鮮度低下が進行し、OPP 製袋の方が黄化が激しくなった。秋期では、LDPE 製袋は 9 日目までほとんど鮮度低下が認められなかったが、OPP 製袋は、6 日目以降は鮮度低下が進行し、9 日目には黄化が激しくなった。冬期では、両試験区とも 3 日目までは鮮度低下はほとんど生じなかったが、6 日目以降両試験区とも鮮度低下が進行した。鮮度低下の進行程度は OPP 製袋の方が早く、9 日目には黄化が激しくなった(図 11)。

なお、異臭の発生はLDPE包装、OPP包装の両試験区とも確認されなかった(未掲載)。

以上のことから、保存6~12日後で鮮度保持効果を総合的にみると、ブロッコリーのいずれの収穫時期においても、LDPE製袋はOPP製袋と比較して高い鮮度保持効果が期待できる。特に、冬に比

べて収穫期の気温が高い春と秋では、花蕾部でその効果が大きかった。実際の輸送現場では、高温期である春、秋でのブロッコリーの黄化が問題となっており、その点で本技術の鮮度保持効果が非常に有効であると考えられる。

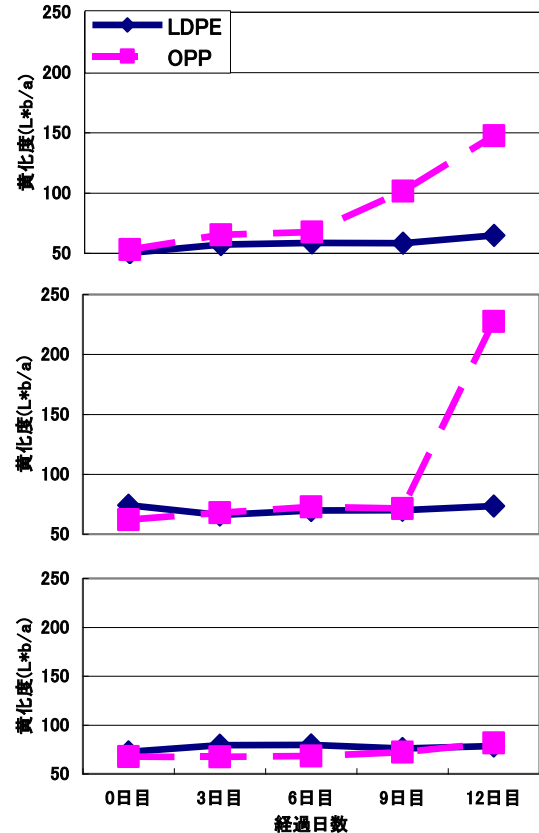
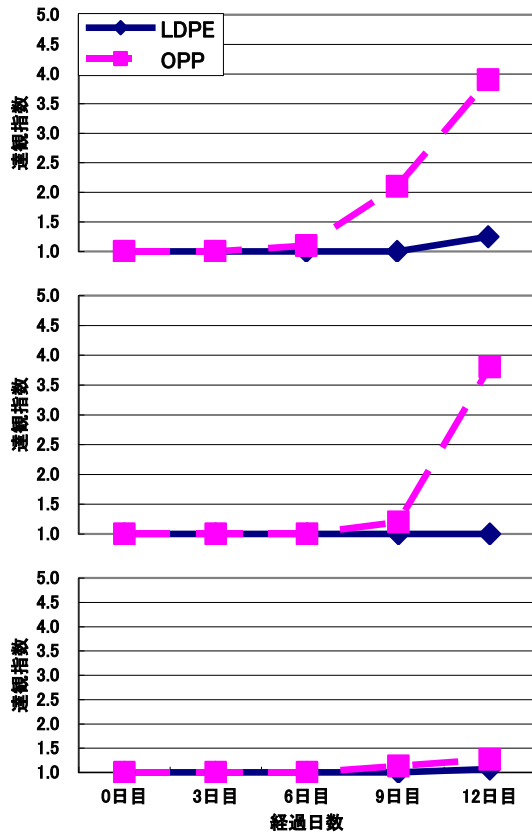


図 9. 花蕾部の黄化推移(達観調査), 春期(上), 秋期(中), 冬期(下)

*達観指数 1: 全く黄化なし 2: 花蕾の1/8まで黄化 3: 花蕾の1/4まで黄化 4: 花蕾の1/2まで黄化 5: 花蕾の1/2以上黄化

図 10. 花蕾部の黄化度推移(色差調査), 春期(上), 秋期(中), 冬期(下)



写真3 OPP 製袋試験区・収穫当日(5月収穫)



写真4 OPP 製袋試験区・収穫後12日(5月収穫)



写真5 LDPE 製袋試験区・収穫当日(5月収穫)



写真6 LDPE 製袋試験区・収穫後12日(5月収穫)

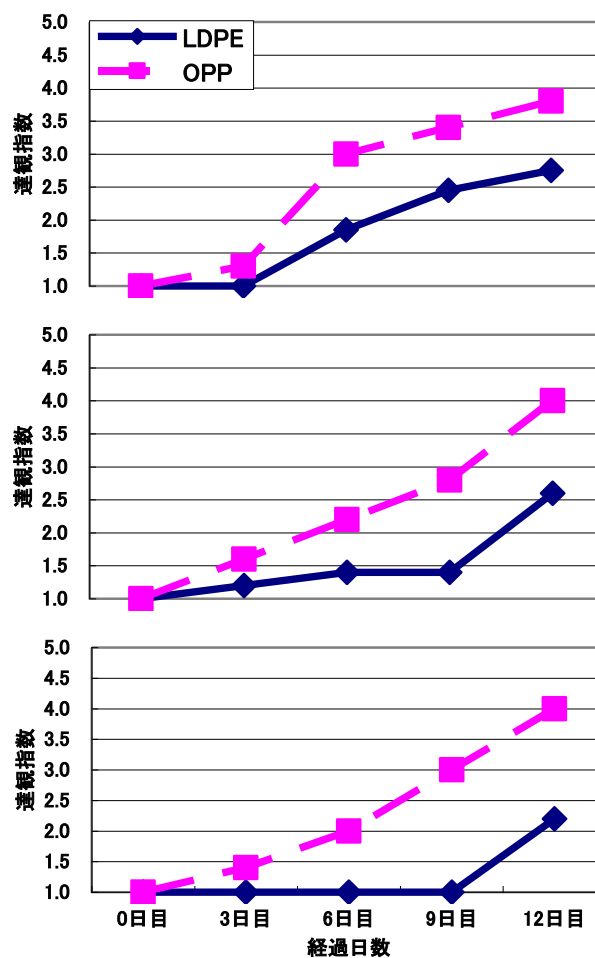


図 11. 花茎部の鮮度推移(達観調査) , 春期(上), 秋期(中), 冬期(下)

*達観指数 1:劣化なし, 2:葉柄の多少の黄化, 3:葉柄の黄化, 4:葉柄のヒビ, 5:葉柄の剥離

5. 収穫後高温処理の鮮度保持効果

ブロッコリーは天候の影響による出荷量の増減が大きく、計画的な出荷が難しい。販売価格の安定と生産拡大を図るために、出荷調整技術の確立が求められている。しかし、ブロッコリーは収穫後の呼吸量が多いため、鮮度を保持することが非常に難しい。

青果物の品質保持のためには、通常低温に保つことが鮮度保持における重要な方法とされているが、この他に、植物体をストレス下に置くことでストレス反応を誘起し、鮮度保持に有効な内容成分含量を増加させ、鮮度保持の向上を図る研究も

行われている^{4,13,18,19)}。

その一例として、高温処理を行うことによりブロッコリーの黄化が抑制されることが報告^{4,19)}されており、50°Cの条件下で2時間処理することにより、花蕾中のクロロフィル分解に関与する酵素であるクロロフィラーゼ、クロロフィル分解ペルオキシダーゼ活性が抑制され、花蕾の黄化抑制がされる^{4,19)}ことが報告されている。

また、ミニトマトにおいて収穫後に高温処理とMA貯蔵包装を組み合わせることにより、高温処理あるいはMA貯蔵による単体技術を導入した場合

と比較して高い鮮度保持効果があること¹³⁾が報告されている。

そこで、出荷調整技術確立のため、本県ブロッコリーの生産、収穫、出荷過程において、収穫後高温処理^{4, 19)}とLDPE製袋・OPP製袋包装と組み合わせることにより、その鮮度保持効果を検証した。

1) 試験方法

(1) 試料

供試したブロッコリーは、2009年12月、午前7時半頃に雲仙市の圃場より採取した。品種は品種451号で、収穫後の調整、輸送等は試験3の1)、(1)に準じた。1試験区20個体で行った。

(2) 包装資材

供試した資材の形状は、OPP製袋が厚さ0.025mmで990mm×1000mm、LDPE製袋が、厚さ0.02mmで620mm×860mmである。また、下記の調査後は再度同条件で保存した。

(3) 包装方法

LDPE製袋には1袋あたり10個体、OPP製袋には1袋20個体を入れ、高温処理後、輪ゴムで密封し、写真1および写真2のようにダンボール箱に詰め、保存した。

(4) 高温処理方法

高温処理は、収穫後約3時間後に熱風乾燥機(TABAI社製:PS-222)を使用し、各包装資材を密閉せずハンカチ折りにして、50℃、2時間処理した。

(5) 保存方法

高温処理後各包装資材を密封し、収穫から約5時間後に10℃恒温・暗所条件下に設定した低温恒温槽(九州科学製 KLP-0.5AS)に入れて、保存した。

(6) 調査方法

ア) 花蕾部黄化の達観評価

花蕾部の黄化程度を達観基準1～5で段階評価した。判断基準は、2の1)、(5)、ア)に準じた。1試験区5個体を固定して実施した。

イ) 花茎部鮮度の達観評価

花茎部の鮮度程度を達観基準1～5で段階評価した。判断基準は、試験2の1)、(5)、イ)に準じた。1試験区5個体を固定して実施した。

ウ) 異臭の有無

異臭の有無及び強さを4段階で判断した。判断基準は、試験2の1)、(5)、エ)に準じた。1試験区5個体を固定して実施した。

2) 試験結果及び考察

10℃定温・暗所・密封保存条件下において、全試験区とも、花蕾部は保存12日目でも高温処理の有無および包装資材の違いによる効果の差はほとんどなく、黄化が認められなかった(図12)。しかし、花茎部ではLDPE製袋はOPP製袋に対して、高温処理の有無に関係なく、鮮度低下を抑制した。

また、LDPE製袋では、6日目頃から高温処理効果の有無により品質に対して大きな差が生じ、無処理区では6日目以降鮮度低下が進行したが、高温処理区では12日目でも黄化等の鮮度低下を抑制し鮮度保持効果が極めて高かった(図13)。これにより、花茎部は、LDPE製袋使用区で、高温処理による高い鮮度劣化効果が認められた。一方、OPP製袋使用区は、高温処理の有無による明確な鮮度低下抑制効果は確認できなかった。

トマトにおいても収穫後に高温処理とMA貯蔵包装を組み合わせることにより、高温処理あるいはMA貯蔵による単体技術を導入した場合と比較して高い鮮度保持効果があり¹³⁾、本試験のブロッコリーでも同様の傾向が確認できた。

ただ、保存中のブロッコリー特有の匂いは、OPP製袋では高温処理の有無による発生差はなかったが、LDPE製袋では、高温処理により匂いが若干強くなる傾向が認められ(表6)、高温処理無しのLDPE製袋でも弱い異臭が確認されたが、この異臭の程度は、袋を開放して5分程度すると消失した。また、試験2と異なった結果となったのは、収穫期や収穫前後の気温等に異臭発生が影響を受けるのではないかと考えられる。

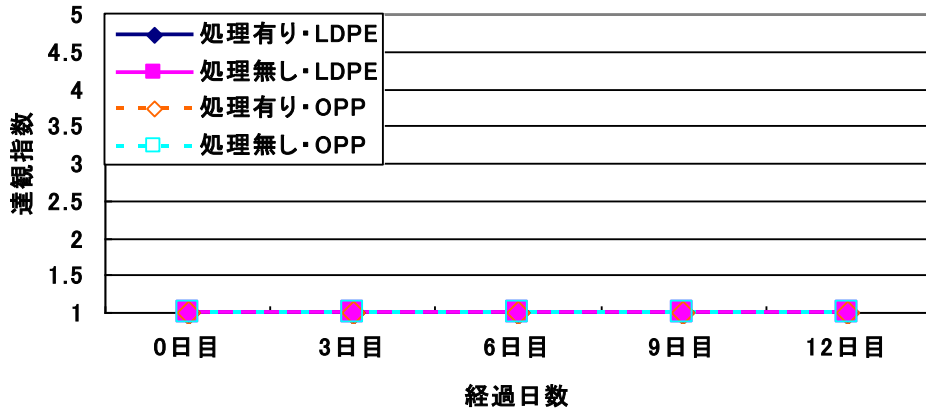


図 12. 花蕾部の黄化推移(達観調査)

*達観指数 1:全く黄化なし, 2:花蕾の1/8まで黄化, 3:花蕾の1/4まで黄化, 4:花蕾の1/2まで黄化, 5:花蕾の1/2以上黄化

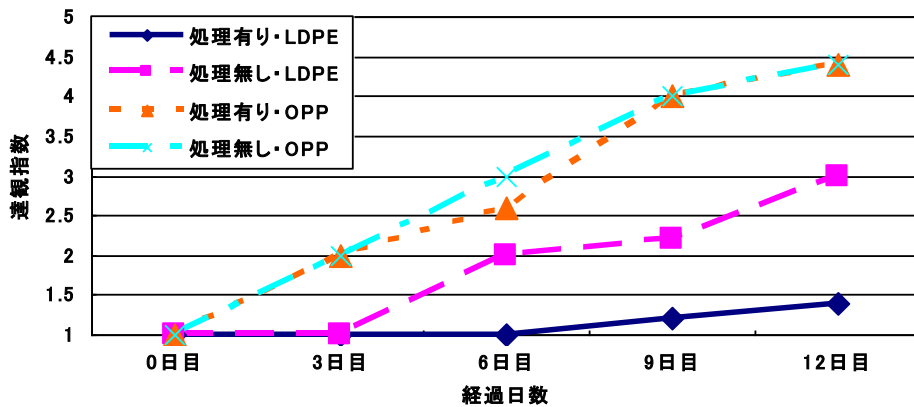


図 13. 花茎部の鮮度推移(達観調査)

*達観指数 1:劣化なし, 2:葉柄の多少の黄化, 3:葉柄の黄化, 4:葉柄のヒビ, 5:葉柄の剥離

表 6 異臭発生の有無

包装資材の種類	高温処理の有無	保存日数				
		処理直後	3日	6日	9日	12日
LDPE	○	±	+	+	+	+
	×	±	+	±	±	±
OPP	○	-	-	-	-	+
	×	-	-	-	-	+

[調査基準] -:異臭なし ±:異臭が若干する +:異臭がする ++:強い異臭がする



写真7 処理有り・LDPE 試験区/収穫当日



写真8 処理有り・LDPE 試験区/収穫後 12 日



写真9 処理有り・LDPE 試験区/収穫当日



写真10 処理有り・LDPE 試験区/収穫後 12 日



写真11 処理無し・OPP 試験区/収穫当日



写真12 処理無し・OPP 試験区/収穫後 12 日



写真13 処理無し・OPP 試験区/収穫当日



写真14 処理無し・OPP 試験区/収穫後 12 日

6. 総合考察

青果物を高価格で販売し続けるためには、一定の品質で安定的に消費地まで出荷することが求められる。特にブロッコリー等の収穫後の呼吸量が多いとされる品目は、鮮度維持が難しく、鮮度保持技術の必要性が高い。

青果物は、呼吸作用により、青果物中の貯蔵成分が損耗するため、品質及び鮮度の低下が生じる。

したがって、この現象を抑制するためには、呼吸作用を抑える必要があり、そのためには、現在主に2つの方法があり、品温を抑えること^{7, 8, 12)}と、適切な環境気相をコントロールすること^{9, 10, 15, 17, 23)}である。その内、品温を抑える技術はクールドチェーン等の導入により多くの流通現場で導入されている。ブロッコリーでは、貯蔵温度20°Cの場合と比較して5°Cの場合、呼吸量が1/5~1/4に、0°Cでは1/7に抑制されることが報告¹⁵⁾されており、品温を抑えることは呼吸量の抑制に対して高い効果がある。

本研究では、後者の方法である適切な環境気相を整えることにより鮮度保持を行うことを軸としたMA包装貯蔵を検討した。適切な環境気相とは、通常の大気条件と比較して低酸素、高二酸化炭素条件である。

この条件を包装フィルムの素材や厚さによって調整することがMA包装貯蔵であり、比較的簡便に導入が可能であり、鮮度保持技術として現場で昨今採用されている。ただ、目的とする品目、収穫時期、貯蔵・輸送間の温度により、この植物体の呼吸量が違うため、環境気相は大きく影響を受け、これらの条件毎に適切な包装資材を選択する必要がある。加えて、MA包装貯蔵向けの包装資材は、小さな孔などがついていたりするため高コストの場合があり、その点も問題となっている。

本研究の結果、ブロッコリーの外観鮮度は、貯蔵温度が同じならばLDPE製袋の厚さが厚い、即ち、酸素や二酸化炭素の通気性が低い方が鮮度保持に効果的であった。そのため、袋内の酸素濃度が低く、二酸化炭素が高いほど外観上の鮮度保持効果は高いと考えられる。

しかし、植物体にとって適切な酸素、二酸化炭素濃度の範囲外の低酸素、高二酸化炭素条件になると嫌気呼吸を生じ、異臭が発生することがある。

本研究でもLDPE製袋では0.03mm以上の厚さになると、袋内で嫌気呼吸が発生し、異臭発生が確認された。しかし、厚さ0.02mmのLDPE製袋では、異臭が発生せず、また鮮度保持効果もOPP製袋よりも高く、包装資材として有効であることが分かった。これは、ブロッコリーの包装資材として酸素透過度が4000~10000ml/m²・day・atm(15°C)が適切との報告¹⁵⁾があり、本研究で使用した0.02mmのLDPE製袋では、9050 ml/m²・day・atm(15°C)(未発表)でこの範囲内にあり、0.03mmは3320 ml/m²・day・atm(15°C)、0.05mmは2610 ml/m²・day・atm(15°C)(未発表)で、適切な酸素透過率ではなく、下限である4000 ml/m²・day・atm(15°C)を下回っており、このため酸素濃度が低く嫌気呼吸が生じたと考えられ、既報¹⁵⁾と同様の傾向が確認できた。

そこで、この2種の包装資材を用いて、栽培品種が異なる春、秋、冬の年間の収穫時期別に鮮度保持機能を比較検証した結果、いずれの収穫時期においても、LDPE製袋はOPP製袋と比較して高い鮮度保持効果が確認できた。現場で、出荷・輸送中のブロッコリーの黄化等が問題となっているのは高温期の秋・春期であり、本資材はその点で非常に有効であると考えられる。この現象は、ブロッコリーは品温が上昇すると二次曲線的に呼吸量が増加することが報告⁶⁾されており、秋・春期の方が呼吸量の抑制余地が大きいためであると推測される。

しかしながら、高温処理とMA包装を組み合わせた試験では、厚さ0.02mmのLDPE製袋でも弱いながらも異臭の発生が確認され、貯蔵時に高温となった場合には異臭が問題となる可能性がある。

実際にMA包装貯蔵を利用して青果物を流通させる場合、異臭の発生は大きな問題となりうる可能性があるため、流通時の温度変化等もある程度考慮して包装資材を選定する必要がある。

収穫時刻の違いによる鮮度保持への影響は、外観鮮度に関しては、花蕾、花茎ともに明確な差は収穫後6日目まで認められなかった。通常収穫後3~5日目には消費者が購入するので、実際の流通現場ではどの時刻に収穫しても差はないと考えられる。しかし、鮮度保持に深く関係するとされる全糖含量は、秋冬を総合すると朝収穫が最も多く

収穫後 6 日目まで残存しており、呼吸等の生命活動による全糖含量の減少が少ないと推測された。

これらのことから、朝収穫が収穫時の品温が最も低いため、呼吸量の抑制がなされたと考えられる。6 日目までの鮮度保持については、収穫時刻の違いにより外観上には明確な差は生じなかったが、呼吸の基質となる全糖含量は朝収穫のほうが残存しやすく、輸送温度の上昇等の輸送環境の変化によっては、消費者へブロッコリーが提供される前に、朝収穫と昼・夕収穫に外観鮮度で差が生じる可能性がある。また、一般的に、秋・春と比較して冬収穫は、鮮度保持が良いが、これは品温が低いことが原因であると考えられていたが、低温環境によって低温馴化が生じ耐凍性獲得による全糖含量の増大にも起因している可能性が示唆された。

低温馴化と同様に 50℃ の高温という特定の温度環境によりブロッコリー花蕾の黄化が抑制されることが確認されている^{4,19)}。また、ミニトマトにおいて収穫後に高温処理と MA 貯蔵包装を組み合わせることにより、高温処理あるいは MA 貯蔵の単体技術のみを導入した場合と比較して高い鮮度保持効果があること¹³⁾が報告されている。

そこで、ブロッコリーにおいて、収穫後高温処理^{4, 19)}と LDPE 製袋・OPP 製袋包装と組み合わせることにより、その鮮度保持効果を検証した。その結果、高温処理と厚さ 0.02mm の LDPE 製袋による MA 包装を組み合わせることにより、収穫後 12 日目まで外観鮮度の劣化がほとんど生じなかった。この

試験を行ったのは、冬収穫のものであり、高温期である秋・春収穫では、慣行の出荷形態である高温処理無し・OPP 製袋包装との組み合わせと比較してより大きな鮮度保持効果の差が生じる可能性が考えられる。収穫してから消費者に渡るには、通常 3~5 日掛かるので、高温処理と MA 包装を組み合わせることにより、1 週間程度の出荷調整が可能となる。また、収穫後の調整において、葉柄を残し、花茎部を約 1cm ほど長く残して貯蔵し、出荷直前にそれらを切り落とすことにより、全糖含量の低下を抑制し、花茎部の鮮度低下を約 2 週間抑制できることが報告²²⁾されており、本技術をさらに組み合わせることにより、より長期間の出荷調整ができる可能性がある。

本研究において高温期である春・秋で特に高い鮮度保持効果が確認できた厚さ 0.02mm の LDPE 製袋は、現在ブロッコリー生産現場で問題となっている鮮度低下を解決できる資材である。また、安価で、ブロッコリー以外の青果物に対しても MA 包装貯蔵に利用可能で現地への普及が望まれる。しかし、LDPE 製袋は透明度が低く市場での商品確認がしにくい場合があり、包装資材として透明性が高い資材が好まれることがある。

今後は、本研究における袋内のガス濃度等の結果を用い、パーシャルシール法²⁰⁾のようにして LDPE や OPP 製袋に簡便な細工を加えることにより、適正なガス濃度に制御する方法等や LDPE と透明度の高い資材を組み合わせた包装資材の開発についても今後検討することも必要と思われる。

7. 摘要

微細孔 OPP 製袋と厚さ 0.02mm の LDPE 製袋の MA 包装貯蔵によるブロッコリーに対する鮮度保持効果を収穫時期並びに収穫時刻の違い毎に調査した。また、両包装資材による MA 包装貯蔵と高温処理を組み合わせる方法の鮮度保持効果についても調査した。

1. 収穫後 6 日目までの LDPE 製袋包装と微細孔 OPP 製袋による朝・昼・夕の収穫時刻別での花蕾部の黄化、黄化度では大きな差は生じなかった。花茎部においても同様であった。全糖含量では、両資材において、秋冬期を総じて朝収穫が高く保たれ

ていた。

2. LDPE 製袋は微細孔 OPP 製袋と比較して、朝収穫において全ての収穫時期で花蕾部の黄化を抑制し、花茎部の鮮度低下を抑制した特に春と秋ではその効果が顕著であった。

3. 冬期収穫物の高温処理効果は、花蕾部では処理の有無および包装資材による差はほとんどなかった。しかし、花茎部では微細孔 OPP 製袋包装で、収穫後 3 日目以降鮮度低下が進行した。LDPE 製袋と高温処理を組み合わせることにより、収穫後 12 日目まで黄化等の鮮度低下を抑制した。

8. 謝辞

本研究を進めるに当たり、島原振興局農林部には現地試験、情報収集の協力において多大な支援を頂いた。また、現地試験においては、JA 島原雲仙、全農長崎及び JA 全農青果センター大阪センターに多大な協力を頂いた。研究を進める上で、山口大学の山内直樹教授、野菜茶業研究所の永田雅

靖博士、農業環境技術研究所の小原裕三博士にはご助言、ご支援頂いた。

当センター職員には数々のご助言を頂いた。本稿を草するにあたり、以上の各位および関係機関に感謝の意を表す。

9. 引用文献

- 1) 青木和彦：寒締め野菜の高品質化シナリオ策定と生産支援システムの開発，東北農業研究センター成果情報，(2005)
- 2) 壇和弘，永田雅靖，山下市二：嫌気条件下におけるブロッコリーからの含硫揮発性成分の発生，野菜・茶業試験場報告，(1998)
- 3) 藤倉潤治，杉山 裕：ハウレンソウ・コマツナのタどりによる硝酸塩低減，北海道農業研究成果情報，(2004)
- 4) Funamoto Yoshio, Naoki Yamauchi, Tetsuya Shigenaga & Masayoshi Shigyo: Effect of heat treatment on chlorophyll degrading enzymes in stored broccoli (*Brassica oleracea* L.), *Postharvest Biology and Technology*, 24, 163~170(2002)
- 5) 羽山裕子，阪本 大輔，立木 美保，櫻村 芳記，中村 ゆり：機能性ダンボールを用いたエチレン処理による硬肉モモの軟化制御，園芸学会雑誌 別冊，75(2)，611(2006)
- 6) 池田浩暢：ブロッコリー流通時の鮮度保持に関

する基礎的研究，鹿児島大学連合大学院学位論文，(2008)

7) 岩元睦夫：青果物の流通技術-現状と展望-，日本低温保蔵学会誌，16(4)，173~181(1990)

8) 岩田隆：日本産果実・野菜の低温保蔵に関する研究，日本低温保蔵学会誌，17(4)，158~164(1991)

9) 泉秀実：CA/MA 貯蔵によるカット野菜の保存，食品加工技術，19(1)，19~25(1999)

10) Hasbullah Rokhani, Sutrisno, 川崎 聖司, 小島 孝之, 秋永 孝義: 通気管路を用いた'アーウィン'マンゴーの MA 貯蔵, *農業施設*, 32(3), 135~145(2001)

11) Kuroshima Manabu, Kazuo Ichimura, Masao Ubukata: Effects of Pulse Treatments with Sucrose in Combination with STS on the Quality and Vase Life of Cut *Delphinium* Flowers (*Postharvest Physiology & Technology*), *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 7(2), 305~308(2008)

12) 前澤重豊，中野浩平：卸売市場の温度シュミレ

ーションにおけるブロッコリーの品質変化, 岐阜大学農研報, 63, 61~66(1998)

13) Md. Sayed Ali, Tuan Quoc Nguyen, Kohei Nakano, Shigenori Maezawa: Delay of color development of cherry tomato using heat treatment and modified atmosphere Packaging, Japanese Society of Agriculture Technology management, 11, 75~82(2004)

14) 宮川逸平, 小酒井一嘉: サツマイモとコンニャクイモのキュアリング貯蔵の研究, 農業施設, 7, 21~31(1976)

15) 永井耕介, 福嶋昭, 小河拓也, 中川勝也: ブロッコリーの高鮮度保持に対応した機能性フィルムの選択基準, 日本食品保蔵学会誌, 23, 6(1997)

16) 農産物流通技術研究会編: 93年版農産物流通技術年報, 107(1993)

17) 小河拓也, 福嶋昭, 永井耕介: MA包装貯蔵が「岩津ネギ」の鮮度に及ぼす影響, 兵庫県農技総研報(農業), 57, 26~31(2009)

18) Sakanya Aiama-or, Naoki Yamauchi, Susumu Takino, Masayoshi Shigyo: Effect of UV-A and UV-B irradiation on broccoli(*Brassica oleracea* L. Italica Group) floret yellowing during storage, Postharvest

Biology and technology, 54, 177~179(2009)

19) Shigenaga Tetsuya, Naoki Yamauchi, Yoshio Funamoto & Masayoshi Shigyo: Effect of heat treatment on an ascorbate-glutathione cycle in stored broccoli(*Brassica oleracea* L.) florets, Postharvest Biology and Technology, 38, 152~159(2005)

20) 鈴木芳孝, 岡林秀典, 石川豊, 今堀義洋, 上田悦範: 新簡易包装(パーシャルシール包装)によるニラの鮮度保持技術の開発, 日本食品保蔵, 29, 141~146(2003)

21) Tatsuki Miho, Atushi Endo: Analyses of Expression Patterns of Ethylene Receptor Genes in Apple (*Malus domestica* Borkh.) Fruits Treated with or without 1-Methylcyclopropene (1-MCP), J. Japan. Soc. Hort. Sci., 43, 28~35(2007)

22) Yamauchi Naoki, Kubo hiromi, Shigefuji Yuji, Katagawa satoshi: Quality Maintenance of Stored broccoli(*Brassica oleracea* L.) with Leaf Stalks, Food Preservation Science, 26, 205~210(2000)

23) 輿座宏一, 太田英明, 野方洋一, 石谷孝佑: 常温貯蔵中におけるブロッコリーの品質に及ぼす包装資材の影響, 日本食品工学会雑誌, 39, 800~805(1992)

Summary

The freshness maintenance effect over the broccoli by the modified atmosphere (MA) packaging storage of the bag made from the micro perforated polypropylene (OPP) films and the 0.02-mm-thick bag made from low-density polyethylene (LDPE) films was investigated for every difference between harvest season and harvest time. Moreover, it investigated also about the freshness maintenance effect of the broccoli which combined MA packaging storage and heat treatment.

- 1) After six days after harvest, between LDPE packaging and OPP packaging, in the morning, noon and evening by harvest time, produced no significant difference in the flower buds by the degree of yellowing. Also in the flower stems, it was the same. The total sugar content of broccoli by harvest morning in both LDPE packaging and OPP packaging were generally kept high in autumn and winter harvest.
- 2) The LDPE packaging by comparison with the OPP packaging controls the yellow conversion of the flower buds in all the harvest times at the time of morning harvesting. Similarly, the freshness of the flower stems decreased inhibition. Especially, the effect is remarkable in spring and autumn.
- 3) Heat treatment effect in winter crops, the flower buds of the existence of difference of processing and packaging materials have little. But, in the OPP film packaging, freshness decrease after the 3rd day after the harvesting advanced. The combination of heat treatment and the LDPE film packaging inhibited the decrease from yellow until 12 days after harvest.